



TITLE:

アインシュタインの相対原理

AUTHOR(S):

山本, 一清

CITATION:

山本, 一清. アインシュタインの相対原理. 天界 1921, 1(13): 253-258

ISSUE DATE:

1921-11-25

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/159640>

RIGHT:

天界 第十三號(第一卷)

大正十年
十二月號

アイシンの相對原理

山本 一清

一。學界の宿題

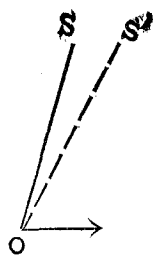
宇宙引力説の發明者たるアイザック・ニュートン (Isaac Newton 一六四二年生 一七二七年死) は、多くの天體の複雑な運動を、數學と力學とによつて、殆んど完全に解決したが、彼は又、光學に關する研究も深くやつて、光の本性について、微粒子説を唱道した。其れに據ると、凡て發光體は光素といふ微細な物質を四方に發射し、之れが附近の他の物體や吾々の眼に當るので、さまざま、光に關する現象が起るのだといふのである。此の說によれば、光の直進することや反射の法則などを巧みに説明することが出来る。しかし一方に於いて、光の屈折や廻折や偏極や干涉などを説明するのに困難であつた。それでニュートンと同時

代にオランダ國のハイゲンス (C. Huygens 一六二九年生 一六九五年死) は、光を、空間にひろがつてゐるエーテルの波動であるといふ説を唱へた。此の波動説によると、光の屈折や反射や干涉などの説明は出来るけれど、光の直進といふ重大事實を説くことが出来ず、又、彼れの波動説はエーテルの縦波を唱へたのであるため、偏極光線の説明が不可能であつた。光に關する此の二つの學説は十七八世紀頃の學界に於ける大論争であつて、絶えず論壇を賑はしたものであるが、何分にも名聲隆々たるニュートンに向ふにまはしては、ハイゲンス一派の論辯は——たとひ學理に若干の強味はあつても——既に世間に對する信用の點について少なからざるハンディキャップを負つてゐたため、苦戦は一通りでなかつた。十九世紀の初頭、英國にヤング (Th. Young 一七七三年生 一八二九年死) 出づるに及び、始めてエーテルの横波説をとるや、巧みに偏光や干涉や反射や屈折や、あらゆる光學現象を説明したので、波動説は頗る有力となり、次いで佛國にフレネル (A. Fresnel 一七八八年生 一八二七年死) 等の研究が發表せられるに至つて、微粒子説は全く消滅するに至つた。のみならず

十九世紀の中頃には、英國のマクスウェル(C. Maxwell) [一八三一年生、一八七九年死] が光の電磁説を唱へて、光波と電波とは、要するに、同じエーテルの横波であると言ひ獨逸のヘルツ(H. Hertz) [一八五七年生、一八九四年死] が之れを實驗的に證明するに及んで、光の波動説は殆んど確定の域に達した。

しかるに、こゝに光の傳播については、十八世紀以來天文學及び物理學上に重大なる問題があつた。

先づ一七二七年英國の天文學者ブラドレー(J. Bradley) がアベラシオンといふ現象を發見した。

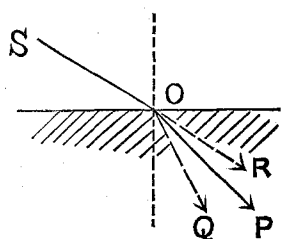


第一圖

アベラシオンとは、光の速度が有限であるため、第一圖に於いてO點から矢の方向に運動してゐる觀測者から星Sを見てゐると、却つてS'に在るやうに見える現象をいふ。

此のアベラシオンを説明するためには、宇宙のエーテルが静止してゐて、其の中を我が地球が運行すると考へなければならぬ。

次に一八一八年、佛國の物理學者アラゴ(Arago)は星の光の屈折に關する實驗をした。宇宙のエーテル

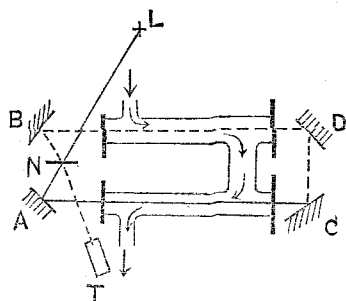


中を傳はる光の速度は一秒時三十萬キロメートルであるが若し地球がエーテルに對して静止してゐるならば、第二圖に於いて星Sから來た光は、ガラスの表面O點で屈折して、Pの方へ進むのであるが、若し地球が靜

止してゐないで、星Sの方へ進んでゐる場合には、光は地球に對して一秒三十萬キロ以上の速度でやつて來ることになるから、屈折してOQの方向に進む筈である。又、之れに反して、地球が星から遠かりつゝあるならば、光はORの方へ屈折することゝなる。アラゴは之れを實驗によつて觀察したところが地球の運動の如何にかゝはらず、星の光は皆OPの方に屈折した。之れで考へて見ると、エーテルと地球とは相對的に運動してゐない。即ち言ひかへればエーテルは地球と共に運動してゐるといふことになる。之れはアベラシオンと矛盾する。

一體、アベラシオンの現象で、地球と無關係に静止してゐる例のエーテルとは、望遠鏡の筒の中に充

満してゐる空氣中のエーテルのこゝである。此のエーテルが、地球のつきあひをせずに、静止してゐるといふのは、考へて見れば變な話で、——それでも地球は、此の宇宙の空間を運行してゐるに違ひないのだから、此の運行に伴はないエーテルは、望遠鏡の筒や空氣の内部を、自由に通過してゐると考へなければならぬ。——又、光は水やガラスのやうな透明體の中を通過するのであるが、透明體が動いても、エーテルは少しも動かないものなのか否か。此の根本問題を解決するため、佛人ファイゾー(Fizeau)は、



圖二 第

一八五一年、第三圖のやうな裝置をして實驗を行つた。

圖で、Lは光源、Tは望遠鏡、ABCDは鏡、それからNは半透明の鏡である。光は先づLから出發してNで反射した一部分は、L N B D C A L Tの道を通り、又、Lで屈折貫通した一部分はL N A C D B N Tの道順を経て、共に望遠鏡で觀察される。今AとC及びBとDと

の間に流水の槽を置けば、初めの光線は水と同じ方向に走り、後の光は水に逆行する。若し、水中のエーテルが水と共に幾らかでも移動するならば、其の違ひは望遠鏡に精密に觀察が出来る筈である。

ファイゾーは此の實驗を行つた結果、水中のエーテルは水の流れに伴つて移動する事實を認めた。しかしエーテルは水と同じ速度で流れるのではなく、僅かに水の速さの四十三パーセントだけ動くのである。フレネルは、此の結果を研究して、一般にエーテルは運動せる物質の速度の $(1 - \frac{1}{n^2})$ 倍だけの速度で運動に伴ふものであるといふ學說を唱へた。但しnは其の物質の屈折率で、水の場合には

$$n = 1.33 \quad \text{であるから} \quad 1 - \frac{1}{n^2} = 0.434$$

となる。之れをフレネルの引きずり係數といふ。

一八七一年、英國の天文學者エアリー(G. B. Airy)はアベラシオンに關する一實驗を試みた。アベラシオンは、望遠鏡の速度と、其の内部の光線速度との關係から起るのであるから、望遠鏡の筒の中に水を満たしたまゝで天體觀測を行ひ、昔しのブラドレーのとは違つたアベラシオンの現象を見出すだらうとの豫想であつたが、觀測の結果は全く、ブラドレー

と同量で、つまり、望遠鏡の中の水の有無に關らずアベラシオンは一定であるといふ結論になつた。之れは甚だ不可解な事であるが、實は之れよりさき、フレネルは例の引きすり係數の理によつて、此の事あるを豫告して置いたのである。

さて、エーテルが地球と共に動くか否かについて一八八七年、米國のマイケルソン (A. Michelson) とモーレー (M. Morley) とが協同して、決定的の實驗を試みた。

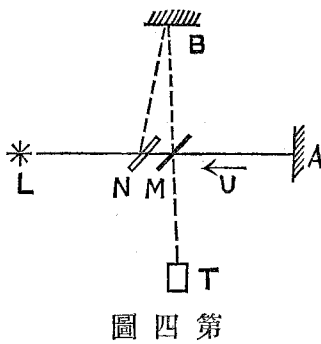


圖 四 第

裝置は第四圖の通りで、Lは光源、Tは望遠鏡、AとBとは鏡、Mは半透明の鏡である。光はLから出で、一部はMを通過し、Aで反射して再びMに歸り又反射してTに來る、又、他の一部はLからMに來て直ちに反射してBに達し、再び反射し、Mを通過してTに來るのである。今、裝置全體がvの矢の方向に動いてゐるならば、光がMAMの道順を経る場合と、MBMの道を行く場合とで、光の速度に與へる影響が違ふことになり、之れが望遠鏡の中に現はれて來るだらうといふ豫想であつた。

しかるに實驗の結果は何の影響もなく、エーテルは地球の表面に靜止してゐるらしい結論になつてしまつた。こゝに於いて、物理學界はエーテルの本性について、大に迷ひ、議論百出、——エーテルを地球と共に動くと考へて好いのやら、わるいのやら——混沌として説の歸するところを知らなかつた。

一八九三年、英人フィッツ・ジェラルド (Fitz. Gerall) は、マイケルソン等の實驗の結果を説明するため、一説を出し、物體が運動すれば、其の運動の方向に寸法が縮まるのである。それがためマイケルソンの結果は、丁度此の收縮による現象と互ひに消し合つて、全く何の事實も現はれなかつたのであると説明した。其の後、一八九五年、オランダのロレンツ (H. A. Lorentz) も亦同様な物質收縮説を發表した。「總ての物體が運動すれば長さが縮まる」とは誠に窮した學説であるが、吾人にかういふことを唱へるやうに餘儀なくさせたエーテル其ものは果して如何なるものか。エーテルが、光線や電波を傳へて行く速度は、ニウカム (S. Newcomb) 等の最近の觀測によれば、一秒時に二九九八六〇キロメートルである

が、こんな速い横波が存在するがためには、エーテルが物質であるならば、非常な硬度を持つてゐなければならぬ。鋼鐵ほどの硬度を持つてゐる吾が地球でさへ、其の内部を地震の波が傳はつて、反對點に達するのに數時間を要するのであるから。——そのエーテルが、地球や、火星や、その他多くの天體の運行に對して、何の抵抗も表はさないのは不思議である。(ニウトンの引力論には、エーテルの存在は全く不必要である。)更に又、右に述べた如く、代々の學者達がさまざまの實驗を行つて見ると、其の結果は、エーテルは絶對に此の宇宙空間に靜止してゐるといふ結果になつたり、又、エーテルは地球と共に運動してゐると出て見たり。——結局、エーテルといふものが存在するのか、しないのか。存在しないなら、精密な波長まで測定せられた光線や電波は何者であるか。

二、アインシュタインの出現——

——特別相對原理

アルベルト・アインシュタイン (Albert Einstein) は一八七九年、獨逸ウエルテンベルグ國ウルム市に生

れた奇才で、始め、ミュンヘン、ミラン、ツリーヒに轉々して勉強したが、一九〇二年、瑞西ツリーヒ市特許局技師となり、一九〇九年には同地の大學教授となり、理論物理學を講じた。一九一五年以來、ベルリン大學に教授をしてゐる。

さて、アインシュタインの學説を述べるのであるが、其の前に、準備として考へて置くべきことがある。吾々は、自然現象を知る場合には、常にそれが「何時」「何所」で起つたかと言つた風に、事柄の時間と空間とを知らなければならぬ。時間は時計で計るとして、何年何月何日何時何分何秒と精密に言へば言ふほど、明瞭になるから、まづ好いとして、空間の位置を言ふ場合には、三つの言葉で言ひ表はす必要がある。今、空間に、二つづゝ互ひに直角に交つてゐる直線があるとする。第四圖

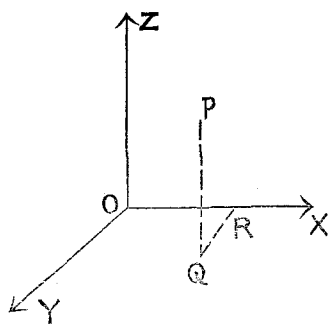
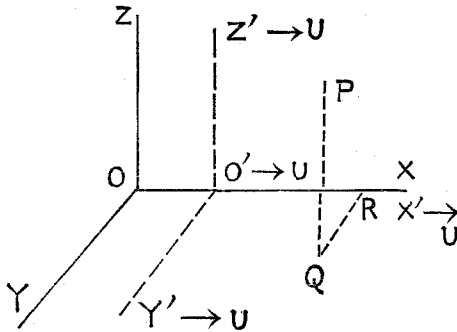


圖 四 第

OX、OY、OZ がそれぞれある。さて、別に此の空間に P と言ふ點があるとして、P から XY 平面に垂線 PQ を降し更に又、Q から OX 線に垂線 QR を降したとする。圖から簡単に考へて分る通り、PQ と QR とは直角、QR と OR とは直角である。又、PQ と



圖五第

さて、こゝに OX, Y, Z といふ座標軸と、 $O'X', Y', Z'$ といふも一つの座標軸とがあるとする。さうすると P 點の座標は第一の座標軸について言へば x, y, z であるし、第二の座標軸については x', y', z' である。尙其の上に、此の二

$O'R$ と RO とは線の長さであるから、 R で測ることが出来る。今 $OR = x, RO = y, PO = z$ とする。此の x, y, z を三つの量で、 P といふ點が、 OX, OY, OZ の三直線から何ういふ位置にあるかといふ事が明瞭になる。又、測り次第で、いくらでも精密に言ひ表はすことも出来る。此の x, y, z を P 點の座標といひ、 OX, OY, OZ 線を座標軸といふ。又 O 點を座標の原點といふ。吾々は一組の座標軸を約束し、その上で三つの座標を知らば、わざわざ圖に畫いたり、模型を見たりしないで、 P 點の位置をはつきりと想像することが出来るのである。

種の座標軸が、全然、相一致してゐる場合には、 $O, X, O'X', O'Y', O'Z', OZ$ と $O'Z'$ とは同じものであるから、座標そのものも亦

$$x = x', \quad y = y', \quad z = z' \dots \dots \dots (1)$$

である。

次に原點 O' が OX 軸の上を、一秒 v 尺の速度で進行するとして、 t 秒後には、第五圖の如く、 $O'X', Z'$ が移動したものである。 $O'X'$ 軸は、いつまでも OX 軸と重なつたまゝ動いてゐる。其の場合には

$$OO' = v \times t = vt$$

である。そして一の關係は x の場合だけが變つて

$$x = OR = OO' + O'R = vt + x' \dots \dots \dots (2)$$

となる。時間 t は両方の座標軸に共通である。

(一)や(二)の關係は幾何學と代數の初歩を學んだ者には分りきつた程、明瞭な關係であつて、在來の物理學は常に此の關係を用ひて、物理現象を研究處理してゐたのである。(二)をガリレオ・ニウトンの座標關係式といふ。勿論前に述べたアベラシオンの現象や、光とエーテルとの關係など、皆此の考へを應用して解かうとしたのである。しかるにあのやうな事情で、總ての事實を一括して説明することが出来なくなり、學界が行き詰りになつたのは、果して、ここに原因があるのか？(未完)